

RANCANGAN ALAT PENGUKURAN PERCEPATAN GRAVITASI

Rezky H.Sandi, Maria dan Muh. Hamzah

Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Hasanuddin Makassar 90245, Indonesia
E-mail : reskyharisandi@gmail.com

Abstrak

Desain alat observasi Geofisika dengan menghitung nilai percepatan gravitasi dengan prinsip gerak benda jatuh. Alat ini mencacah waktu tempuh (t) benda yang mengalami gerak jatuh yang diketahui nilai ketinggiannya (h) menggunakan perangkat sensor inframerah dan mikrokontroler Arduino Uno. Dengan menggunakan program komputer, maka nilai h dan nilai t menjadi input pada program sehingga dihasilkan nilai percepatan gravitasi (\vec{g}) sebagai nilai akhir (*output*) alat dan kecepatan awal (\vec{v}_0) sebagai nilai ketetapan/kalibrasi alat sebesar 92,22744413 cm/s. Alat ini memiliki nilai akurasi dengan menghasilkan nilai percepatan gravitasi pada satuan mikroGal (μGal .) namun belum menghasilkan nilai dengan presisi yang baik.

Kata Kunci : Alat Observasi, Percepatan Gravitasi, Gerak Benda Jatuh, Waktu Tempuh, Kecepatan Awal, Akurasi, Presisi, Kalibrasi.

Abstrack

Geophysical observation tool design by calculating the acceleration of gravity with the principle of motion of a body falling . This tool chopping travel time (t) objects experiencing falling motion known value of the height (h) using the infrared sensor and the microcontroller Arduino Uno . By using a computer program , then the value of h and t be input to the program so that the resulting value of the acceleration due to gravity (\vec{g}) as the final value (output) devices and an initial velocity (\vec{v}_0) as the value of provisions / calibration tool for 92.22744413 cm/s . This instrument has an accuracy value to produce a value of the acceleration of gravity on mikroGal unit (μGal) But has yet to produce a value with good precision .

Keywords : Observation tool, Gravity, Body falling, Travel time, Velocity, Accuracy, Precision, Calibration.

PENDAHULUAN

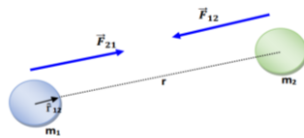
Hukum Newton menyatakan bahwa gaya antara dua benda bermassa m yang dipisahkan pada jarak r akan berbanding lurus dengan perkalian massa dua (2) benda tersebut dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari kedua pusat benda tersebut (gambar 2.1). Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\vec{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r}_{12}$$

dengan :

- \vec{F}_{12} = Gaya tarik partikel 1 terhadap partikel 2 (N)
- m_1, m_2 = Massa benda (kg)
- r = jarak antara kedua benda (m)
- G = Konstanta gravitasi umum ($6,672 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$)
- \hat{r}_{12} = Vektor satuan dengan arah dari m_1 menuju m_2

Tanda negatif menandakan bahwa gaya bekerja pada arah yang berlawanan terhadap vektor satuan yang arahnya selalu keluar dari massa benda.



Gambar 1. Gaya antara dua buah benda

Gaya pada m_2 , dinyatakan dengan Hukum II Newton adalah :

$$\vec{F}_{12} = m_2 \vec{g}$$

Dengan mensubstitusi persamaan 2.1 ke persamaan 2.2 dapat di peroleh persamaan percepatan gravitasi (\vec{g}).

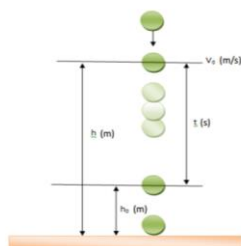
$$\vec{g} = -G \frac{m_1}{r^2} \hat{r}_{12}$$

Percepatan gravitasi (\vec{g}) sebanding dengan gaya gravitasi per unit massa. Jika m_1 merupakan massa bumi (M_e), maka persamaan (2.3) dapat dituliskan berikut ini :

$$\vec{g} = -G \frac{M_e}{R_e^2} \hat{r}_{12}$$

Persamaan (2.4) disebut sebagai percepatan gravitasi bumi, dengan R_e adalah jari-jari bumi⁽²⁾.

Gerak Benda Jatuh adalah benda apapun yang bergerak vertikal karena disebabkan oleh pengaruh gravitasi dan memiliki kecepatan awal. Benda-benda tersebut memiliki percepatan gravitasi (\vec{g}) yang mengarah langsung ke pusat bumi⁽³⁾. Secara sederhana digambarkan oleh skema berikut ;



Gambar 2. Skema Gerak Benda Jatuh

Persamaan gerak benda jatuh dari konsep fisika dapat dituliskan⁽⁴⁾, sebagai berikut :

$$h_o + \vec{v}_o t + \frac{1}{2} \vec{g} t^2 = h$$

dengan :

h = ketinggian awal

keseluruhan (m)

h_o = ketinggian awal (m)

\vec{v}_o = kecepatan awal (m/s)

\vec{g} = Percepatan gravitasi bumi (m/s²)

t = waktu tempuh (s)

Sensor cahaya inframerah terdiri dari dua (2) bagian utama, yaitu :

Pemancar (Transmitter) LED Infra Merah

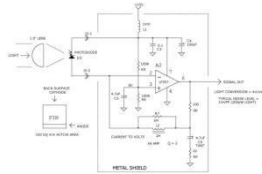
LED inframerah adalah suatu bahan semikonduktor yang memancarkan cahaya monokromatik yang tidak koheren ketika diberi tegangan maju. Cahaya infra merah pada dasarnya adalah radiasi elektromagnetik dari panjang gelombang yang lebih panjang dari cahaya tampak, tetapi lebih pendek dari radiasi gelombang radio, dengan kata lain infra merupakan warna dari cahaya tampak dengan gelombang terpanjang, yaitu sekitar 700 nm sampai 1 mm.

Cahaya LED timbul sebagai akibat penggabungan elektron dan *hole* pada persambungan antara dua jenis semikonduktor dimana setiap penggabungan disertai dengan pelepasan energi. Pada penggunaannya LED infra merah dapat diaktifkan dengan tegangan DC untuk transmisi atau sensor jarak dekat, dan dengan tegangan AC (30–40 KHz) untuk transmisi atau sensor jarak jauh

Penerima (Receiver) Infra Merah (Infra Red Receiver)

Sinar infra merah yang dipancarkan oleh pemancar infra merah tentunya mempunyai aturan tertentu agar data yang dipancarkan dapat diterima dengan baik di *receiver*. Oleh karena itu baik di *transmitter* infra merah maupun *receiver* infra merah harus mempunyai aturan

yang sama dalam mentransmisikan (bagian *transmitter*) dan menerima sinyal tersebut kemudian mendekodekannya kembali menjadi data biner (bagian *receiver*).



Gambar 3. Rangkaian Penerima sinar Inframerah

Komponen yang dapat menerima infra merah ini merupakan komponen yang peka cahaya yang dapat berupa dioda (*photodiode*) atau transistor (*phototransistor*). Komponen ini akan merubah energi cahaya, dalam hal ini energi cahaya infra merah, menjadi pulsa-pulsa sinyal listrik.

Mikrokontroler Arduino

Mikrokontroler adalah komputer yang berukuran mikro dalam satu chip IC (*Integrated Circuit*) yang terdiri dari prosesor, memori, dan antarmuka yang dapat diprogram. Dalam chip tersebut terdiri dari CPU, memori, dan I/O yang dapat dikontrol dengan memprogramnya. I/O juga disebut dengan GPIO (*General Purpose Input Pins*) yang berarti pin yang bisa diprogram sebagai *input* atau *output* sesuai kebutuhan. Salah satu contoh perangkat mikrokontroler yaitu Arduino⁽¹⁰⁾.

Arduino merupakan sebuah *platform* dari *physical computing* yang bersifat *open source*. Lebih tepat disebut sebagai *platform* karena Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi ia adalah kombinasi dari *hardware*, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment* (IDE) yang canggih. IDE adalah sebuah software yang sangat berperan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kode biner dan meng-*upload* ke dalam memori

mikrokontroler. Adapun yang dimaksud dengan *Physical Computing* adalah membuat system atau perangkat fisik dengan menggunakan *software* dan *hardware* yang sifatnya interaktif yaitu dapat menerima rangsangan dari lingkungan dan memberi respon balik. Dengan kata lain, menghubungkan bentuk digital dari bentuk analog yang bersumber dari lingkungan fisik. Aplikasi IDE (*Integrated Development Enviroment*) pada Arduino berfungsi untuk membuat, membuka, dan mengedit *source code* Arduino (*sketch*). *Sketch* merupakan *source code* yang berisi logika dan algoritma yang akan diupload ke dalam IC mikrokontroler (Arduino).

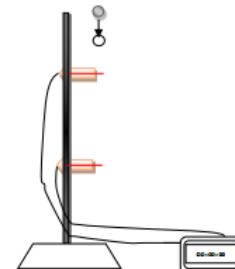
ALAT DAN PROSEDUR

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Satu (1) set komputer menggunakan *Operating System* (OS) Windows 7
2. Software Arduino IDE 1.6.4
3. Dua (2) buah sensor cahaya infra merah.
4. Satu (1) set mikrokontroler Arduino Uno.

Adapun prosedur kerja alat sebagaimana langkah-langkah berikut ini ;

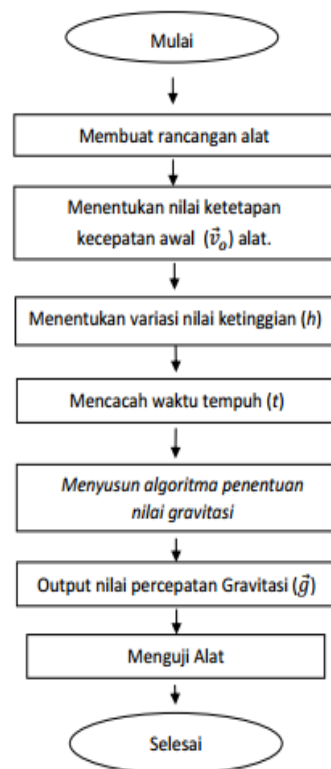
- 1) Menyusun alat pencacah waktu sebagaimana gambar berikut ;



Gambar 4. Rancangan Alat Pencacah Waktu

- 2) Menentukan nilai kecepatan awal (V_0) benda yang mengalami gerak jatuh sebagai suatu ketetapan alat.
- 3) Menentukan jarak ketinggian (h) antara sensor 1 (*on*) dan sensor 2 (*off*).
- 4) Menjatuhkan bola yang dicacah waktu tempuhnya (t).
- 5) Menjalankan program perhitungan percepatan gravitasi dengan input h dan t .
- 6) Menampilkan nilai output program yaitu gravitasi (\vec{g}).

Bagan alur penelitian diuraikan sebagai berikut.



Gambar 5. Skema Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini gambar rancangan alat pencacah waktu (*timer*) benda yang mengalami gerak jatuh :



Gambar 6. Alat Pencacah Waktu

Rancangan alat pencacah waktu (*timer*) ini menggunakan 2 buah sensor cahaya inframerah dan sebuah mikrokontroler Arduino Uno. Dengan nilai kalibrasi \vec{v}_0 rata-rata sebesar 92,22744413 cm/s, mendeteksi dengan baik benda berbentuk bola dengan bermaterial plastik, dan mencacah waktu tempuh benda jatuh dengan satuan skala millisekon (ms) serta menghasilkan nilai percepatan gravitasi dengan satuan hingga mikroGal (μGal .)

Kemampuan sensor yang digunakan sangat dipengaruhi oleh material benda yang digunakan sebagai sampel benda yang jatuh. Setiap sensor memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing untuk menangkap respon material benda. Pada penelitian ini, sensor yang digunakan adalah sensor cahaya infra merah (IR). Sinar infra merah memiliki kemampuan merespon benda yang berbeda-beda material. Pengujian kemampuan sensor untuk mendeteksi benda dengan material berbeda, seperti kaca, besi, plastik, kayu dan kapur sebagai bola sampel. Pengujian dilakukan dengan cara menjatuhkan bola sampel masing-masing

5 kali pada sensor, kemudian diamati respon sensor cahaya inframerah dengan indikator lampu LED pada sensor menyala ketika menerima sinar pantulan bola sampel dan sebaliknya, LED tidak menyala ketika tidak merespon pantulan sinar infra merah dari bola sampel yang melewati sensor. Berikut hasil pengujian tersebut ditampilkan pada tabel berikut ini:

Tabel 1. Hasil Pengujian Pembacaan Sensor Terhadap Material Besi

No.	Respon Sensor terhadap Material Besi	
	Terdeteksi	Tak Terdeteksi
1.	-	√
2.	-	√
3.	-	√
4.	-	√
5.	-	√

Tabel 2. Hasil Pengujian Pembacaan Sensor Terhadap Material Plastik

No.	Respon Sensor terhadap Material Plastik	
	Terdeteksi	Tak Terdeteksi
1.	√	-
2.	√	-
3.	√	-
4.	√	-
5.	√	-

Tabel 3. Hasil Pengujian Pembacaan Sensor Terhadap Material Kayu

No.	Respon Sensor terhadap Material Kayu	
	Terdeteksi	Tak Terdeteksi
1.	√	-
2.	√	-
3.	-	√
4.	√	-
5.	-	√

Tabel 4. Hasil Pengujian Pembacaan Sensor Terhadap Material Kaca

No.	Respon Sensor terhadap Material Kaca	
	Terdeteksi	Tak Terdeteksi
1.	-	√
2.	-	√
3.	-	√
4.	-	√
5.	-	√

Tabel 5. Hasil Pengujian Pembacaan Sensor Terhadap Material Kapur

No.	Respon Sensor terhadap Material Kapur	
	Terdeteksi	Tak Terdeteksi
1.	√	-
2.	-	√
3.	√	-
4.	-	√
5.	-	√

Dari hasil pengujian ini, menunjukkan bahwa bola bermaterial plastik memiliki kemampuan respon terbaik terhadap sensor, maka peneliti menggunakan benda dengan material plastik untuk melakukan pengujian selanjutnya.

Nilai \vec{v}_0 pada penelitian ini adalah nilai kecepatan awal benda yang dijatuhkan sebelum waktu tempuhnya mulai tercacah oleh alat dan sebagai nilai ketetapan alat setelah kalibrasi yang ditentukan dengan melakukan pengujian nilai gravitasi di salah satu *base station*. Pengambilan data dilakukan pada hari Kamis, 18 Ramadhan 1437 H pukul 06.30-07.00 di *base station* Universitas Hasanuddin pada koordinat S 5°7'55.488" dan E 119°29'15.8352" dengan nilai gravitasi (\vec{g}) adalah 978,111455. Hasil pengujian yang dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali ditunjukkan pada tabel berikut ini :

Tabel 6. Hasil Pengujian Nilai Kecepatan Awal

No	Percepatan Gravitasi (\vec{g})	Ketinggian (h)	Waktu Tempuh (t)	Kecepatan Awal (\vec{v}_o)
1.	978,111455 cm/s ²	10 cm	0,078 s	90,05878146 cm/s
2.			0,077 s	92,21283885 cm/s
3.			0,076 s	94,41071208 cm/s
Rata-rata			0,077 s	92,22744413 cm/s

Pada pengujian ini, ditentukan satu nilai \vec{v}_o rata-rata sebagai ketetapan alat untuk melakukan pengujian selanjutnya. Nilai \vec{v}_o rata-rata sebesar 92,22744413 cm/s. Setelah melakukan perhitungan standar deviasi untuk mengetahui penyimpangan nilai yang dihasilkan maka diperoleh nilai standar deviasi sebesar 1.26 %. Nilai standar deviasi tersebut menunjukkan tingkat kesalahan perhitungan yang rendah namun keakuratan alat dipengaruhi oleh rancangan alat tersebut.

Secara teori, berdasarkan persamaan 2.5, menunjukkan bahwa nilai percepatan gravitasi tidak dipengaruhi oleh perubahan massa benda yang mengalami gerak jatuh yang dihitung waktu tempuh jatuhnya. Untuk membuktikan hal tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan pengujian massa, dengan menggunakan 3 sampel bola berbahan plastik dengan massa dan diameter berbeda. Pengukuran dilakukan ditempat berbeda dari *base station* yaitu pada koordinat S 5°7'51.8628" dan E 119°29'39.8112" Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel berikut ini :

Tabel 7. Hasil Pengujian Massa Berbeda Bola Plastik

No.	Massa (m)	Diameter (d)	Ketinggian (h)	Waktu Tempuh (t)	Percepatan Gravitasi (\vec{g})
1.	2 gram	15.91 mm	10 cm	0,076 s	1035,565875 Gal
			10 cm	0,074 s	922,504799 Gal
			10 cm	0,077 s	977,7320971 Gal
2.	0.9 gram	11.77 mm	10 cm	0,076 s	1035,565875 Gal
			10 cm	0,076 s	1035,565875 Gal
			10 cm	0,075 s	1096,157045 Gal
3.	0.5 gram	10.18 mm	10 cm	0,076 s	1035,565875 Gal
			10 cm	0,077 s	977,7320971 Gal
			10 cm	0,075 s	1096,157045 Gal

Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa massa dan diameter benda yang bervariasi tidak mempengaruhi perubahan nilai percepatan gravitasi yang diperoleh, justru nampak bahwa nilai percepatan gravitasi dipengaruhi oleh perbedaan waktu tempuh benda yang dicacah oleh alat. Hal ini membuktikan bahwa massa tidak mempengaruhi nilai percepatan gravitasi berdasarkan teori. Namun nilai waktu tempuh yang ditunjukkan alat sangat bervariasi dipengaruhi oleh

kesalahan alat dan pengguna alat sehingga benda dijatuhkan tidak pada bentuk yang sama pada saat dilakukan pengulangan.

Benda yang mengalami jatuh dengan nilai kecepatan awal yang sama akan menghasilkan waktu tempuh yang sama, meskipun pada ketinggian yang bervariasi. Hasil pengujian tersebut yang dilakukan pada koordinat S 5°7'51.8628" dan E 119°29'39.8112" ditunjukkan pada tabel berikut ini :

Tabel 8. Hasil Pengujian Variasi Ketinggian

No.	Ketinggian (h)	Waktu Tempuh (t)	Percepatan Gravitasi (\vec{g})
1.	10,00 cm	0,078 s	978,1114550 Gal.
		0,077 s	977,7320971 Gal.
		0,076 s	1035, 16565875 Gal.
2.	9,00 cm	0,071 s	972,7639225 Gal
		0,071 s	972,7639225 Gal
		0,071 s	972,7639225 Gal
3.	8.00 cm	0.064 s	1024,142371 Gal.
		0,065 s	949,2147368 Gal.
		0.064 s	1024,142371 Gal.
4.	7.00 cm	0,058 s	981,4555532 Gal
		0,059 s	895,4787684 Gal
		0,057 s	1072,967488 Gal

Dari hasil diatas ditunjukkan nilai ketinggian yang semakin kecil namun nilai percepatan gravitasi yang dihasilkan bervariasi. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara nilai ketinggian dan percepatan gravitasi tidak saling berpengaruh satu dengan yang lainnya. Dalam kondisi ideal nilai gravitasi pada titik yang sama akan selalu sama, meskipun nilai h dan t bervariasi. Dalam penelitian ini, diharapkan menghasilkan nilai percepatan gravitasi yang sama namun hasil pengujian tidak demikian. Kondisi ini disebabkan oleh rancangan alat yang belum pas, benda yang dijatuhkan tidak pada tempat dan posisi yang sama, dan juga pengaruh gesekan

udara serta termasuk didalamnya dipengaruhi oleh gesekan udara.

Sebagai solusi, rancangan alat didesain sehingga tidak lagi memungkinkan terjadinya kesalahan serta memastikan benda yang dijatuhkan pada tempat dan posisi yang sama setiap kali dilakukan pengujian. Adapun untuk pengaruh gesekan udara, maka dapat diatasi dengan melakukan pengujian sehingga mendapatkan nilai koefisien gesekan udara kemudian nilai gravitasi bisa didapatkan setelah koreksi koefisien tersebut atau dengan membuat rangkaian alat hampa udara.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal berikut ini :

1. Rancangan alat dibuat dengan menggunakan 2 sensor infra merah yang berfungsi sebagai pemicu *on* dan *off* program dengan software Arduino IDE 1.6.4. Alat ini, memiliki kemampuan mencacah waktu dengan satuan milli sekon dengan 2 angka desimal dibelakang tanda koma (,) yang ditampilkan pada serial monitor. Kemampuan sensor mendeteksi dengan baik benda berbahan plastik.
2. Program komputer (*sketch*) perhitungan gravitasi disusun dengan menggunakan software arduino IDE 1.6.4. Dengan menampilkan nilai kecepatan awal (\vec{v}_0), nilai ketinggian (h), waktu tempuh (t) dan nilai percepatan gravitasi (\vec{g}) pada serial monitor program. Program yang dibuat pada Arduino IDE 1.6.4. ini memiliki kekurangan pada nilai desimal yang dihasilkan hanya menampilkan 2 angka desimal dibelakang koma, sehingga peneliti menggunakan program excel untuk mendapatkan nilai output gravitasi yang lebih baik.
3. Hasil pengujian menghasilkan nilai gravitasi yang memiliki akurasi dengan mencapai satuan mikroGal (μGal). Namun pada kondisi posisi dan tempat pengujian yang sama alat menunjukkan nilai gravitasi yang bervariasi sehingga belum dikatakan memiliki presisi yang baik.

Dalam hal pengembangan alat dan peningkatan akurasi serta presisi alat, maka peneliti menyarankan akan peneliti selanjutnya memperhatikan saran berikut ini, diantaranya ;

1. Merancang desain alat yang paten sebelum melakukan pengujian untuk mengurangi bahkan menghilangkan kemungkinan terjadinya kesalahan yang disebabkan oleh alat dan pengguna alat.
2. Studi lebih lanjut untuk menyusun program GUI (*Grafic User Interface*) dan software tersendiri untuk alat tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini, serta Beasiswa Bidik Misi (BBM) yang telah banyak membantu biaya penulis selama menempuh pendidikan di Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin, Makassar.

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Nugraha, A.B. 2016. "Monitoring Reservoir Panas Bumi Menggunakan Metode Gravitasi". Dalam www.digilib.itb.ac.id. 15 Januari
- (2) Serway, Raymond, A. dan Jewett, Jr. John, W. 2009. *Physics for scientist and engineer*. Jakarta : Salemba Teknika.
- (3) Syahrudin, M. H. 2015." Mengekstrak Parameter Fisis dari Data Observasi". Dalam jurnal elektronik. UNJ Jakarta.
- (4) Syamsuriadi. 2013. skripsi : "Penentuan Struktur Bawah Permukaan Kota Makassar dengan Menggunakan Metode Gaya Berat (Gravity). Program Studi Geofisika FMIPA UNHAS. Makassar.
- (5) Anonim. 2016. "Sensor". Dalam www.storage.jak-stik.ac.id. 14 Januari
- (6) Anonim. 2016. Dalam www.teknikelektro.com. 03 Juli
- (7) Djuandi, F. 2011. "Pengenalan Arduino". Dalam buku elektronik. Universitas Trisakti Jakarta.